

E4

C)

Process for controlling operation of nitrogen oxides storage catalyst in exhaust gas tract of a lean-burn internal combustion engine comprises operating engine with a lean fuel/air mixtures to determine degree of effective storage

BEST AVAILABLE COPY

Publication number: DE19926305

Publication date: 2000-12-21

Inventor: ZHANG HONG (DE); PFLEGER CORINNA (DE);
LUDWIG WOLFGANG (DE)

Applicant: SIEMENS AG (DE)

Classification:

- International: F01N3/08; F01N11/00; F02D41/02; F01N7/02;
F01N3/08; F01N11/00; F02D41/02; F01N7/00; (IPC1-7):
F01N9/00

- European: F01N3/08B2; F01N11/00; F01N11/00C;
F02D41/02C4D1

Application number: DE19991026305 19990609

Priority number(s): DE19991026305 19990609

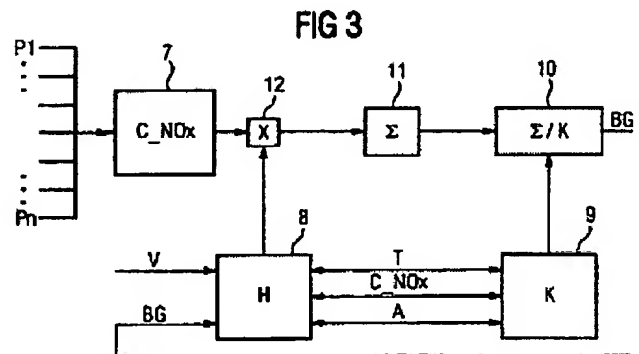
Also published as:

GB2353737 (A)
FR2794804 (A)

Report a data error he

Abstract of DE19926305

Controlling the operation of a NO_x storage catalyst comprises: (a) operating the engine in the storage phases with a lean fuel/air mixture; (b) operating the engine in the regenerating phases with a rich fuel/air mixture; (c) determining the degree of effective storage (H) in the storage phases; and (d) selecting the operating parameters in the storage and regenerating phases and the duration of these phases depending on the degree of effective storage. The NO_x storage catalyst (3) arranged in the exhaust gas tract (4) of a lean-burn internal combustion (I.C.) engine (1).



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



18 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 199 26 305 A 1

61 Int. Cl.?:
F 01 N 9/00
C)

21 Aktenzeichen: 199 26 305.1
22 Anmeldetag: 9. 6. 1999
43 Offenlegungstag: 21. 12. 2000

DE 199 26 305 A 1

71 Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

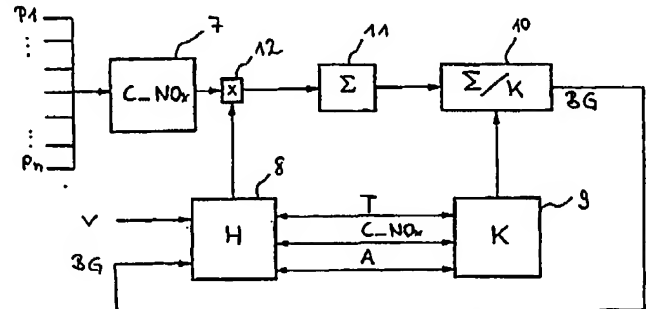
72 Erfinder:
Zhang, Hong, Dr., 93057 Regensburg, DE; Pfleger,
Corinna, 93093 Donaustauf, DE; Ludwig, Wolfgang,
93152 Nittendorf, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zur Steuerung des Betriebs eines NOx-Speicherkatalysators

57 Zur Regelung des Betriebes eines NOx-Speicherkatalysators (3), der sich im Abgastrakt (4) einer Brennkraftmaschine (1) befindet, wird der Einspeicherwirkungsgrad (H) abhängig von der im Abgas zugeführten NOx-Konzentration (C_NOx), dem Beladungsgrad (BG) und der Betriebstemperatur (T) des NOx-Speicherkatalysators (3) bestimmt.



DE 199 26 305 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung des Betriebs eines NOx-Speicherkatalysators.

Um den Kraftstoffverbrauch von Otto-Brennkraftmaschinen weiter zu reduzieren, kommen Brennkraftmaschinen mit magerer Verbrennung immer häufiger zum Einsatz. Bei Otto-Brennkraftmaschinen mit magerer Verbrennung wird der Luftüberschuß so groß gewählt, wie es die Lastanforderung an die Brennkraftmaschine gestattet. Bei geringer Lastanforderung, z. B. bei geringem Drehmoment oder geringer bzw. fehlender Beschleunigung, kann in einem Schichtlade-Betrieb das Kraftstoff/Luft-Gemisch, mit dem die Brennkraftmaschine betrieben wird, Lambda-Werte von 3 und mehr aufweisen.

Zur Erfüllung der geforderten Abgasemissionsgrenzwerte ist bei solchen Brennkraftmaschinen eine spezielle Abgasnachbehandlung notwendig. Dazu werden NOx-Speicherkatalysatoren verwendet. Diese NOx-Speicherkatalysatoren sind aufgrund ihrer Beschichtung in der Lage, NOx-Verbindungen aus dem Abgas, die bei magerer Verbrennung entstehen, in einer Speicherphase zu adsorbieren. Während einer Regenerationsphase werden die adsorbierten bzw. gespeicherten NOx-Verbindungen unter Zugabe eines Reduktionsmittels in unschädliche Verbindungen umgewandelt. Als Reduktionsmittel für magerbetriebene Otto-Brennkraftmaschinen können CO, H₂ und HC (Kohlenwasserstoffe) verwendet werden. Diese werden durch kurzzeitiges Betreiben der Brennkraftmaschine mit einem fetten Gemisch erzeugt und dem NOx-Speicherkatalysator als Abgaskomponenten zur Verfügung gestellt, wodurch die gespeicherten NOx-Verbindungen im Katalysator abgebaut werden.

Um die Dauer der Speicherphasen, d. h. der Magerphasen, und der Regenerationsphasen, d. h. der Fettphasen, zu optimieren, wird die NOx-Beladung des Speicherkatalysators modelliert. Ein solches Verfahren ist beispielsweise aus der EP 0 597 106 A1 bekannt. Durch diese Modellierung kann in der Magerphase der NOx-Speicherstrom, d. h. die pro Zeiteinheit eingespeicherte NOx-Menge berechnet werden. Dieser Speicherstrom hängt von der NOx-Emission der Brennkraftmaschine, dem Speicherverhalten und dem Konvertierungsverhalten des NOx-Speicherkatalysators im mageren ab.

Zum Betrieb eines NOx-Speicherkatalysators, d. h. für die Wahl der Betriebsparameter für die Brennkraftmaschine und der Dauer der Mager- bzw. der Fettphasen ist die Kenntnis des Einspeicherungsverhaltens des NOx-Speicherkatalysators aus zwei Gründen wesentlich:

- a) Die modellbasiert berechnet eingespeicherte NOx-Menge wird durch das Einspeicherungsverhalten beeinflusst.
- b) In der Speicherphase leckt ein bestimmter NOx-Anteil durch den NOx-Speicherkatalysator. Die Höhe dieses Leckstromes hängt vom Einspeicherungsverhalten des NOx-Speicherkatalysators ab.

Es ist somit Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Steuerung des Betriebs eines NOx-Speicherkatalysators anzugeben, bei dem das unterschiedliche Einspeicherungsverhalten des NOx-Speicherkatalysators Berücksichtigung findet.

Diese Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 gekennzeichnete Erfindung gelöst.

Erfindungsgemäß wird ein Einspeicherwirkungsgrad berechnet, der das Einspeicherungsverhalten des NOx-Speicherkatalysators abhängig vom Betriebszustand der Brennkraftmaschine wiedergibt.

In einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung wird berücksichtigt, daß im Betrieb eines NOx-Speicherkatalysators die Kohlenwasserstoffkonzentration vor dem NOx-Speicherkatalysator den Einspeicherwirkungsgrad verringert. Deshalb wird für NOx-Speicherkatalysatoren, denen ein Vorkatalysator zur Oxidation von Kohlenwasserstoffen vorgeschaltet ist, ein Alterungsfaktor für den Vorkatalysator ermittelt, der dessen Oxidationsverhalten ausdrückt. Dieser Alterungsfaktor wird zusammen mit der Betriebstemperatur des NOx-Speicherkatalysators, die weiter Einfluß auf dessen Einspeicherwirkungsgrad hat, zu einem Korrekturwert verknüpft, der bei der Berechnung des Einspeicherwirkungsgrades berücksichtigt wird. Diese quantitative Verknüpfung führt zu einem verbesserten Wert für den Einspeicherwirkungsgrad, der die Verhältnisse in der Abgasreinigungsanlage einer gegebenen Brennkraftmaschine genauer widerspiegelt. Damit kann man die jeweilige Abgasanlage im Betrieb weiter hinsichtlich Verbrauch und Emissionen optimieren.

Einer bevorzugten Ausführungsform liegt die Erkenntnis zugrunde, daß ein bestimmter Alterungszustand des Vorkatalysators, einhergehend mit einem bestimmten Alterungsfaktor im unteren und oberen Betriebstemperaturbereich des NOx-Speicherkatalysators einen wesentlich stärkeren Einfluß auf den Einspeicherwirkungsgrad hat als im mittleren Betriebstemperaturbereich, in dem der NOx-Speicherkatalysator per se einen höheren Einspeicherwirkungsgrad zeigt.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert. Die Zeichnung zeigt:

- Fig. 1 ein Blockschaltbild zur Bestimmung des Einspeicherwirkungsgrades,
- Fig. 2 ein Diagramm mit Kurven zur Erläuterung des Einspeicherwirkungsgrades,
- Fig. 3 ein Diagramm mit der Temperaturabhängigkeit des Einspeicherwirkungsgrades,
- Fig. 4 ein Blockschaltbild zur Steuerung des Katalysatorbetriebes,
- Fig. 5 ein Blockschaltbild einer Brennkraftmaschine mit Vorkatalysator und NOx-Speicherkatalysator.
- Fig. 6 ein Blockschaltbild zur Korrektur des Einspeicherwirkungsgrades.

Das erfindungsgemäße Verfahren dient zum Betrieb des Abgasnachbehandlungssystems einer mit Luftüberschuß betriebenen Brennkraftmaschine, wie sie schematisch in Fig. 5 dargestellt ist. Dabei sind nur die Teile und Komponenten in der Figur enthalten, die für das Verständnis der Erfindung notwendig sind. Der mit Luftüberschuß erfolgende, d. h. magerer Betrieb der Brennkraftmaschine 1 wird von einem Betriebssteuergerät 2 geregelt. Im Abgastrakt 4 der Brennkraftmaschine 1 befindet sich ein NOx-Speicherkatalysator 3. Stromab dieses NOx-Speicherkatalysators ist ein Meßaufnehmer 5 vorgesehen, dessen Signal vom Betriebssteuergerät 2 eingelesen wird. Der Meßaufnehmer 5 kann unterschiedlich ausgebildet sein. Der Meßaufnehmer 5 kann die NOx-Konzentration oder ein von der Sauerstoff-Konzentration abhängiges Signal anzeigen. Stromauf des NOx-Speicherkatalysators 3 befindet sich ein Vorkatalysator 6, der von der Brennkraftmaschine emittierte Kohlenwasserstoffe oxidiert.

Der Betrieb des NOx-Speicherkatalysators 3 erfolgt nach dem im Blockschaltbild der Fig. 3 dargestellten Schema folgendermaßen: Abhängig von Betriebsparametern der Brennkraftmaschine wird die NOx-Konzentration C_NOx im Rohabgas bestimmt. Dazu werden die Betriebsparameter P1 bis Pn in ein Kennfeld 7 eingegeben, in dem die aus Prüfstandsversuchen ermittelte NOx-Konzentration C_NOx über diesen Parametern P1 bis Pn aufgespannt ist. Aus der so ermittelten NOx-Konzentration C_NOx kann unter Berücksichtigung des Einspeicherwirkungsgrades H, dessen Bestimmung später noch erläutert wird, die in den NOx-Speicherkatalysator 3 eingetragene Menge bestimmt und daraus die eingespeicherte Menge $\Sigma(t)$ z. B. nach folgender Gleichung ermittelt werden

$$\Sigma(t) = \int_0^t C_{NOx}(t') H(t') dt' \quad (\text{Block 11}).$$

Mit Kenntnis der Speicherkapazität K des NOx-Speicherkatalysators 3 kann aus der zum Zeitpunkt t eingespeicherten Menge $\Sigma(t)$ der aktuelle Beladungsgrad BG durch $BG(t) = \Sigma(t)/K$ (Block 10) bestimmt werden. Die Berechnung der Speicherkapazität K ist in der Technik bekannt. Sie wird beispielsweise in der deutschen Patentanmeldung 198 23 921.1 der Anmelderin erläutert und ist deshalb in Fig. 3 durch einen Block 9 nur schematisch angedeutet. So kann die Speicherkapazität K in Regenerationsphasen der Brennkraftmaschine unter Verwendung des Signals des Meßaufnehmers 5 bestimmt werden.

Der Beladungsgrad BG des NOx-Speicherkatalysators 3 sowie die Raumgeschwindigkeit bzw. der Luftmassenstrom V des Abgases wird zusammen mit der Betriebstemperatur T, der NOx-Konzentration C_NOx, sowie einem Alterungsfaktor A des NOx-Speicherkatalysators 3 in ein Kennfeld 8 eingegeben, das den Katalysatoreinspeicherwirkungsgrad H ausgibt. Die Raumgeschwindigkeit kann dabei deshalb durch den Luftmassenstrom V ersetzt werden, da das Katalysatorvolumen konstant ist. Dieses Kennfeld wurde ebenfalls durch Prüfstandsversuche ermittelt. Die Bestimmung des Einspeicherwirkungsgrades H ist in Fig. 1 noch einmal dargestellt. Hier wird dem Kennfeld 8 die NOx-Konzentration C_NOx, die Betriebstemperatur T, sowie der Beladungsgrad BG und der Luftmassenstrom V eingegeben, da auf den Alterungsfaktor A auch verzichtet werden kann.

Fig. 2 zeigt einige Kurven mit dem Zusammenhang zwischen Beladungsgrad BG, Einspeicherwirkungsgrad H und eingespeicherte Menge Σ für verschiedene NOx-Konzentrationen C_NOx. Wie zu sehen ist, sinkt der Einspeicherwirkungsgrad H bei andauernder Beaufschlagung mit Abgas mit gegebener NOx-Konzentration C_NOx. Natürlich steigt in gleichem Maße die eingespeicherte Menge Σ . Je geringer die NOx-Konzentration C_NOx im Abgas ist, desto langsamer sinkt der Einspeicherwirkungsgrad H bzw. steigt die eingespeicherte Menge Σ mit dem Beladungsgrad.

Der so ermittelte Einspeicherwirkungsgrad H wird nun bei der Berechnung der eingespeicherten Menge Σ verwendet, indem er mit der NOx-Konzentration C_NOx multipliziert wird (Block 12, Fig. 3), um bei der eingespeicherten Menge Σ das Verhalten des NOx-Speicherkatalysators 3 am aktuell vorliegenden Betriebspunkt genauer zu berücksichtigen. Dadurch wird erreicht, daß der so ermittelte Wert für die eingespeicherte Menge Σ exakt die tatsächlichen Verhältnisse widerspiegelt, wodurch die Gestaltung der Mager- und der Fettphasen im Betrieb der NOx-Speicherkatalysators 3 optimal erfolgen kann.

Um den Wert für die eingespeicherte Menge Σ noch exakter an die tatsächlichen Verhältnisse anzunähern, wird zusätzlich das Betriebsverhalten des Vorkatalysators 6 berücksichtigt. Dies ist in Fig. 6 näher dargestellt. Wie bereits erläutert hängt der Einspeicherwirkungsgrad H von verschiedenen Parametern, wie der NOx-Konzentration C_NOx im Rohabgas, der Betriebstemperatur T und dem Beladungsgrad BG des NOx-Speicherkatalysators 3 ab. Eine weitere den Einspeicherwirkungsgrad H beeinflussende Größe ist die Kohlenwasserstoffkonzentration im Abgas stromauf des NOx-Speicherkatalysators 3. Eine gesteigerte Kohlenwasserstoffkonzentration senkt den Einspeicherwirkungsgrad H, da bei niederen Betriebstemperaturen eine Verminderung der Oxidation von NO zu NO₂ auftritt, weil an Platinpartikeln des NOx-Speicherkatalysators 3 bevorzugt Kohlenwasserstoffe oxidiert werden. Im oberen Betriebstemperaturbereich entsteht durch die exotherme Oxidation der Kohlenwasserstoffe im NOx-Speicherkatalysator 3, die wie erwähnt bevorzugt stattfindet, zusätzlich Wärme, wodurch die Betriebstemperatur weiter ansteigt. Ab einer gewissen Betriebstemperatur sinkt jedoch der Einspeicherwirkungsgrad H wieder ab, wie Fig. 4 zu entnehmen ist, die den Einspeicherwirkungsgrad H als Funktion der Temperatur T zeigt. Durch den Einsatz des Vorkatalysators 6 erreicht man eine geringere Kohlenwasserstoffkonzentration stromauf des NOx-Speicherkatalysators 3, da die unverbrannten Kohlenwasserstoffe größtenteils schon im Vorkatalysator 6 oxidiert werden. Somit verbessert sich der Einspeicherwirkungsgrad H des NOx-Speicherkatalysators 3.

Der Vorkatalysator 6 zeigt jedoch über die Lebensdauer kein konstantes Konvertierungsverhalten; er altert. Durch diese Alterung verändert sich auch bei ansonsten konstanten Bedingungen der Kohlenwasserstoffanteil im Abgas stromauf des NOx-Speicherkatalysators 3. Der Einspeicherwirkungsgrad H kann dadurch durch Berücksichtigung des Betriebsverhalten des Vorkatalysators genauer bestimmt werden, wenn man oben erläuterte Effekte quantitativ berücksichtigt.

Dazu wird der Alterungszustand des Vorkatalysators 6 durch einen Vorkatalysatoralterungsfaktor AV ausgedrückt werden. Dies ist beispielsweise in der Patentschrift DE 197 14 293 C1 der Anmelderin offenbart. Dieser Vorkatalysatoralterungsfaktor AV beschreibt die aktuelle durch Alterungseinflüsse verringerte Kohlenwasserstoffkonvertierungsfähigkeit des Vorkatalysators 3.

Für die weitere Ausführung wird angenommen, daß ein Wert von Eins für den Vorkatalysatoralterungsfaktor AV einem neuwertigen Katalysator entspricht, ein Wert von Null einem Vorkatalysator 6, der an die Grenze seiner Betriebsfähigkeit gealtert ist. Natürlich ist auch eine andere, beispielsweise eine umgekehrte Skalierung, vorstellbar.

Da ein bestimmter Alterungszustand des Vorkatalysators 6 wie erwähnt bei am Rande des Betriebstemperaturbereichs gelegenen Betriebstemperaturen T einen stärkeren Einfluß auf den Einspeicherwirkungsgrad H hat, als im mittleren Betriebstemperaturbereich, kann eine erhebliche Verbesserung des berechneten Einspeicherwirkungsgrades H erreicht werden, wenn wie folgt eine Korrektur durchgeführt wird (vgl. Fig. 6): Aus einem Kennfeld 13 wird abhängig von der Be-

triebstemperatur T und dem Vorkatalysatoralterungsfaktor AV ein Korrekturwert COR entnommen, der mit dem Einspeicherwirkungsgrad H verknüpft wird, so daß ein korrigierter Einspeicherwirkungsgrad H_{COR} erhalten wird. Diese Verknüpfung kann je nach Gestaltung des Korrekturwertes COR additiv oder multiplikativ erfolgen. Das dabei verwendete Kennfeld 13 liefert bei gegebenem Vorkatalysatoralterungsfaktor AV für mittlere Betriebstemperaturen des NOx-Speicherkatalysators 3 jeweils maximale Werte. Mittlere Betriebstemperaturen sind diejenigen, bei denen die in Fig. 4 dargestellte Temperaturabhängigkeit des Einspeicherwirkungsgrades H hohe Werte für den Einspeicherwirkungsgrad H nahezu konstant anzeigt.

Das Kennfeld 13 ist also nach folgenden zwei Regeln gefüllt:

- a) Im Bereich mittlerer Betriebstemperaturen T des NOx-Speicherkatalysators 3 – mittlere Betriebstemperaturen sind diejenigen Temperaturen, bei denen die Temperaturabhängigkeit der Fig. 4 gleichmäßig hohe, annähernd 100% betragende Einspeicherwirkungsgrade H angibt – ist für einen gegebenen Vorkatalysatoralterungsfaktor AV der Korrekturwert hoch.
- b) Der Korrekturwert steigt mit zunehmendem Vorkatalysatoralterungsfaktor AV monoton an.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung des Betriebs eines NOx-Speicherkatalysators (3), der im Abgastrakt (4) einer mager betriebbaren Brennkraftmaschine (1) angeordnet ist, bei welchem Verfahren
 - die Brennkraftmaschine (1) in Speicherphasen mit einem mageren Kraftstoff/Luft-Gemisch betrieben wird, wodurch der NOx-Speicherkatalysator (3) NOx speichert,
 - die Brennkraftmaschine (1) in Regenerationsphasen mit einem fetten Kraftstoff/Luft-Gemisch betrieben wird, wodurch der NOx-Speicherkatalysator (3) gespeichertes NOx katalytisch umsetzt,
 - in Speicherphasen ein Einspeicherwirkungsgrad (H) bestimmt wird, mit dem der NOx-Speicherkatalysator (3) im Abgas der Brennkraftmaschine (1) enthaltenes NOx speichert, und
 - die Betriebsparameter der Brennkraftmaschine (1) in den Speicher- und Regenerationsphasen, sowie die Dauer dieser Phasen abhängig vom Einspeicherwirkungsgrad (H) gewählt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Einspeicherwirkungsgrad (H) abhängig von mindestens einem der drei folgenden Parameter bestimmt wird: Beladungsgrad (BG) des NOx-Speicherkatalysators (3), Betriebstemperatur (T) des NOx-Speicherkatalysators (3), NOx-Strom im Abgas (C_{NOx}), das dem NOx-Speicherkatalysator (3) zugeführt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Einspeicherwirkungsgrad (H) aus einem Kennfeld (8) entnommen wird, das über mindestens einem der Parameter aufgespannt ist.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1–3, dadurch gekennzeichnet, daß stromaufwärts des NOx-Speicherkatalysators (3) ein oxidierend betriebbarer Vorkatalysator (6) angeordnet ist und, daß bei der Berechnung des Einspeicherwirkungsgrades (H) ein Korrekturwert (COR) berücksichtigt wird, der mindestens abhängig von einem Alterungsfaktor (AV) des Vorkatalysators (6) und der Betriebstemperatur des NOx-Speicherkatalysators (3) gewählt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Korrekturwert (COR) folgendermaßen vom Alterungsfaktor (AV) des Vorkatalysators (6) und von der Betriebstemperatur (T) des NOx-Speicherkatalysators (3) abhängt:
 - der Korrekturwert (COR) steigt monoton mit zunehmendem Alterungsfaktor (AV), wenn der Alterungsfaktor (AV) bei neuem Vorkatalysator (6) Null und bei vollständig gealtertem Vorkatalysator (6) Eins beträgt, und
 - der Korrekturwert (COR) hat bei gegebenem Alterungsfaktor (AV) einen Maximalwert für mittlere Betriebstemperaturen und sinkt zu niederen und höheren Temperaturen ab.
6. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß ein multiplikativ mit dem Korrekturwert (COR) verknüpfter Einspeicherwirkungsgrad (H) Werte zwischen Null und Eins annimmt.
7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Maximalwert bei der Betriebstemperatur zwischen 200 und 300°C erreicht wird.
8. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche 4–7, dadurch gekennzeichnet, daß der Korrekturwert (COR) einem Kennfeld (13) entnommen wird.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

THIS PAGE LEFT BLANK

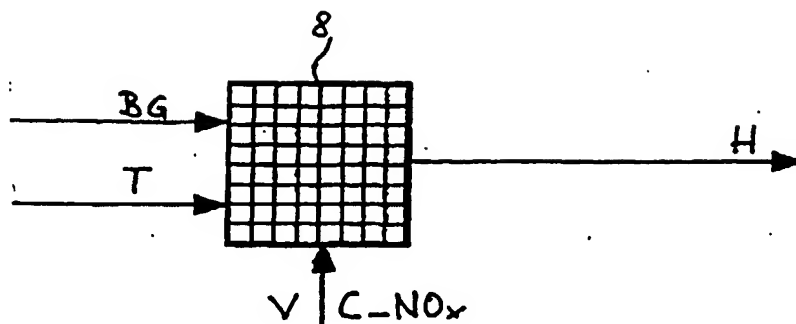


FIG 1

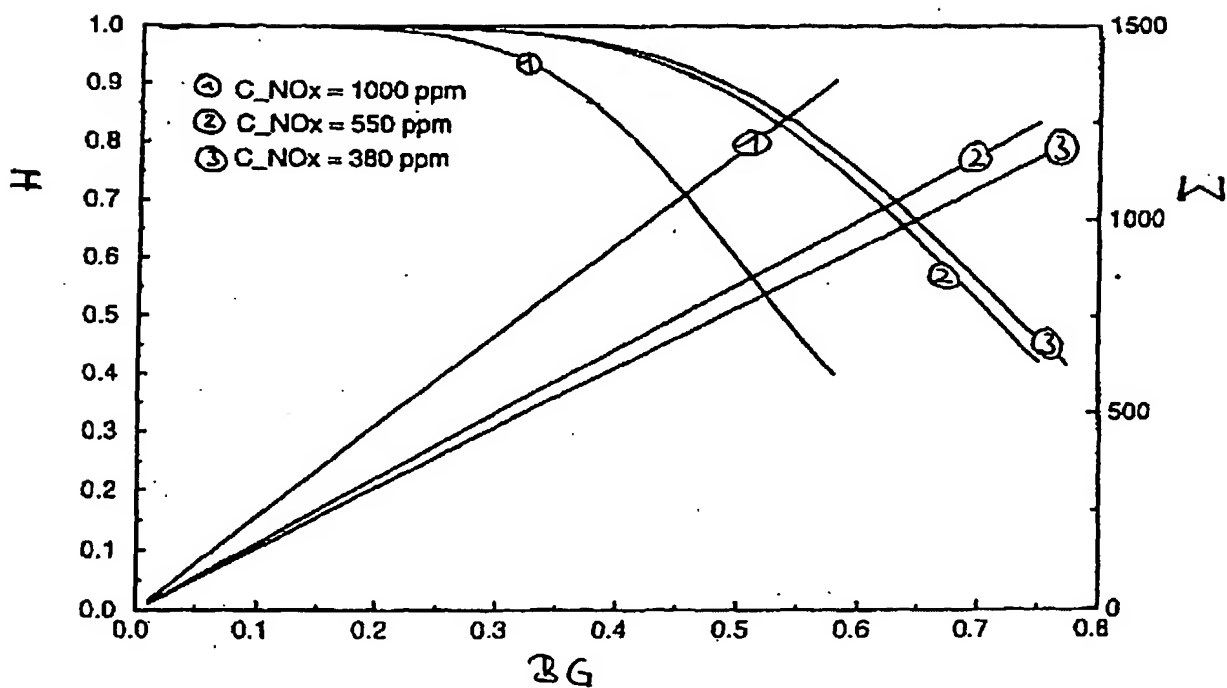


FIG 2

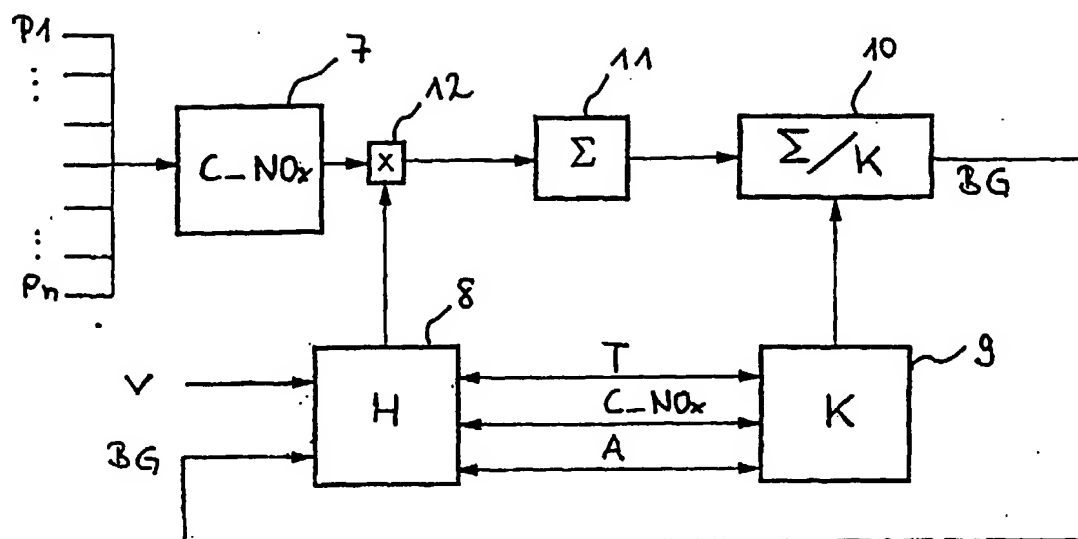


FIG 3

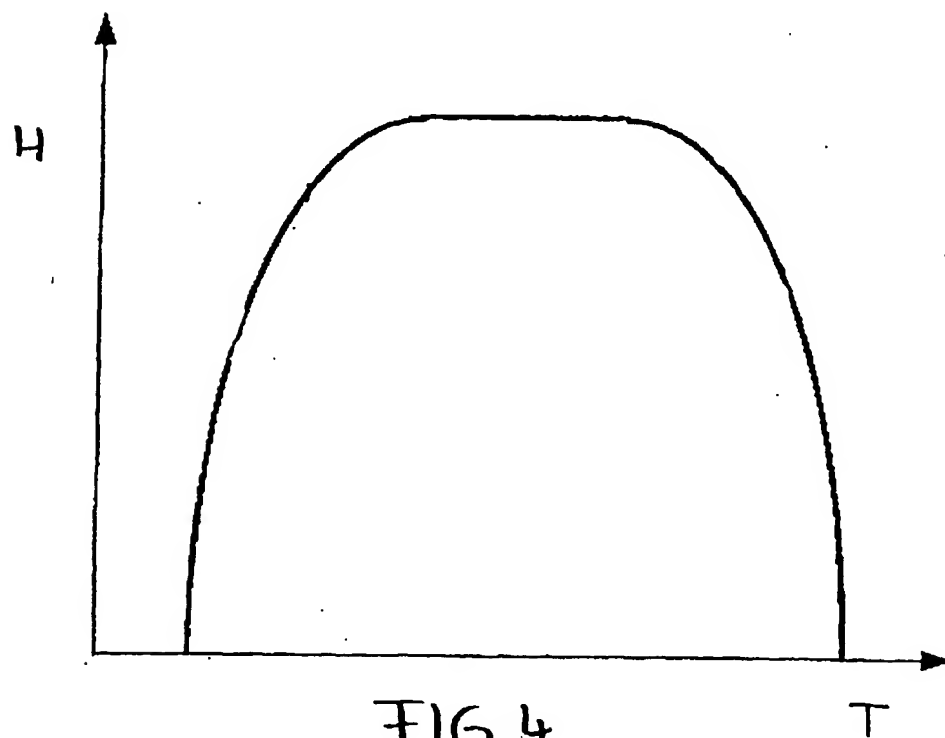


FIG 4

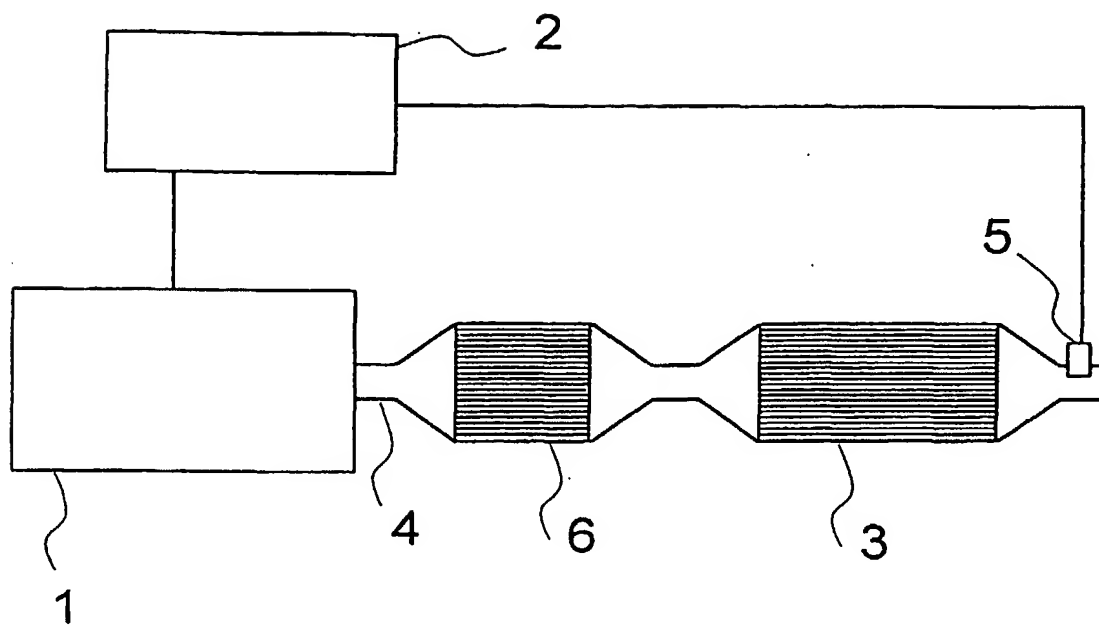


FIG 5

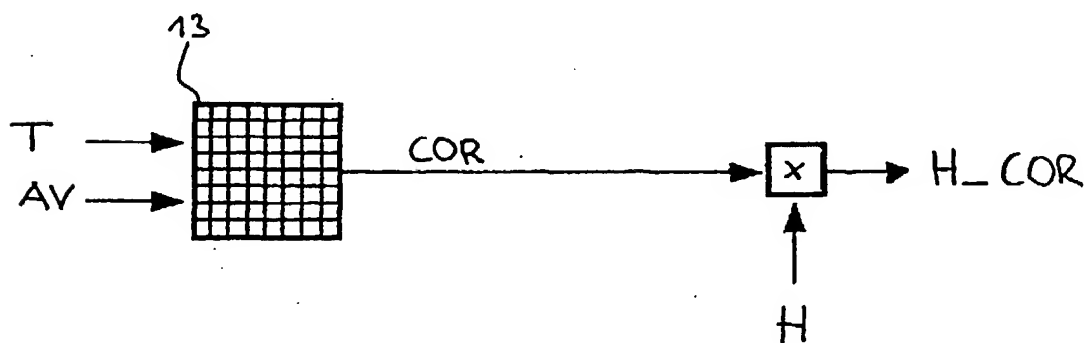


FIG 6

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.